

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-124500

(43)Date of publication of application : 28.04.2000

(51)Int.Cl. H01L 33/00  
H01S 5/323

(21)Application number : 10-292684

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 15.10.1998

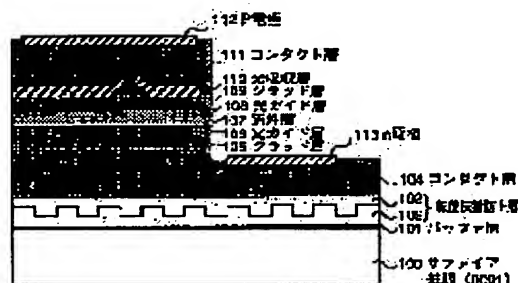
(72)Inventor : NUNOGAMI SHINYA  
YAMAMOTO MASAHIRO

## (54) GALLIUM NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the reliability of a gallium nitride semiconductor device by preventing the dislocation which occurs at the interface between a substrate and a grown layer from being propagated to the heat of the device, by providing a dislocation propagation preventing layer having projecting sections between the substrate and device and exposing single-crystal faces on the side walls of the projecting sections.

**SOLUTION:** A washed sapphire substrate 100 is set up in a susceptor in a MOCVD reaction tube, and oxides are removed from the main surface of the substrate 100 on when gallium nitride (GaN) layers are to be formed by heating the substrate 100 in a reducing atmosphere. Then a GaN buffer layer and a GaN layer 102 are grown on the main surface by making an ammonia gas to flow in the reaction tube and, after the substrate 100 is taken out of the reaction tube, stripe-like projecting sections are formed on the surface of the GaN layer 102 through a photolithography process and an etching process. After the projecting sections are formed, a GaN layer 103 is epitaxially grown on the projecting section. Since the interface between the GaN layers 102 and 103 is constituted of a single crystal including the side walls of the projecting sections of the GaN layer 102, the growth of the GaN layer 103 in the horizontal direction can be accelerated among the projecting sections, and the total number of defects can be suppressed effectively.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

25.02.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

BEST AVAILABLE COPY

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-124500  
(P2000-124500A)

(43) 公開日 平成12年4月28日 (2000.4.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 4 1
H 0 1 S 5/323		H 0 1 S 3/18	6 7 3 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-292684

(22) 出願日 平成10年10月15日 (1998. 10. 15)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 布上 真也

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 山本 雅裕

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100083161

弁理士 外川 英明

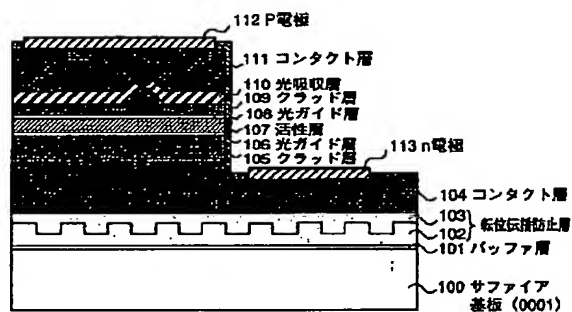
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系半導体装置

(57) 【要約】

【課題】従来のGa N系半導体装置においては、基板と成長層の界面で発生した転位が、成長方向へ伝播しやすく、成長層表面まで達するために、大電流密度の注入により装置の信頼性を低下させるという問題があった。

【解決手段】少なくとも活性層と基板との間に、周期的な凸部を有する界面を再成長により形成する。周期的な凸部を形成することにより、凸部側壁の成長が生じ、横方向への成長を積極的に利用することができる。この横方向への成長速度は、基板に対して垂直方向の成長速度より格段に速く、この界面において転位は横方向へ曲がる。このため、上部の層まで伝播する転位密度を低減することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上に形成された窒化ガリウム系半導体装置において、前記基板と前記窒化ガリウム系半導体装置との間に、凸部を備える転位伝播防止層を具備し、かつ前記凸部側壁には単結晶面が露出してなることを特徴とする窒化ガリウム系半導体装置。

【請求項2】前記転移伝播防止層は下部層と上部層とを備え、前記下部層と前記上部層との界面に前記凸部が形成され、前記下部層及び前記上部層は夫々、 $Al_xGa_yIn_zB_{1-(x+y+z)}N$ 及び $Al_xGa_yIn_zB_{1-(x+y+z)}N$ 、(但し、 $0 \leq x, y, z, u, v, w \leq 1$ )よりなることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系半導体装置。

【請求項3】前記凸部は複数形成されてなり、隣接する前記凸部間の距離 $W1$ は $1\mu m \leq W1 \leq 10\mu m$ 、前記凸部の高さ $d1$ は $0.1\mu m \leq d1 \leq 2\mu m$ 、隣接する凸部の上表面の幅 $W2$ は $1\mu m \leq W2$ であることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、基板上に形成された格子不整合系の窒化ガリウム系半導体装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来の窒化ガリウム(GaN)系半導体装置では、GaNバルク単結晶が容易に作製できないため、その代替基板としてサファイア、SiC、Si、GaAs等のバルク基板を用いていた。これらのバルク基板を用いる際には、その基板主表面上に有機金属気相成長法(MOCVD法)、あるいはハライド化学気相成長法(ハライドVPE)によりGaN系のエピタキシャル成長が行われている。バルク基板として、広くは、 $Al_2O_3$  (サファイア)の(0001)C面が用いられているが、サファイアとGaNとの間には、13.8%という極めて大きな格子不整合が存在するため、成長中、結晶格子に加わる応力によるミスフィット転位が発生しやすく、サファイア基板と成長したGaN層との界面には $10^8 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ の高密度の転位が生成し、高品質のGaN成長層が得られないという課題があった。この転位は成長方向に伝播し、例えば、基板主表面上にGaN系半導体レーザ装置を形成する場合には、その活性層やその上層まで転位が貫通して、レーザ特性が劣化してしまう。また、装置駆動のため注入される電流により、転位の伝播や増殖が生じるために、装置の寿命や信頼性が低下する等の重要な問題が生じる。従って、GaN系半導体レーザ装置の信頼性向上には、基板と成長層の界面で発生する $10^8 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ にもおよぶ転位密度そのものを低減するか、もしくは界面に生成される転位をレーザ装置の活性層領域まで伝播させないかのいずれかの方法により結晶の質を向上することが必要である。この問題は、GaNと格子不整合系の基板材料にお

いて、同様に発生し、例えば、SiC、Si、GaAs等のバルク基板においても生じる問題である。

【0003】最近では、サファイア基板上にGaN層を成長し、このGaN層表面にストライプ状の $SiO_2$ マスクを形成後、GaNを再成長して、 $SiO_2$ マスク上に低転位密度のGaNを成長する、ELOG(Epitaxially Lateral Overgrowth GaN substrate)という試みもなされている(参考文献:1)A. Usui et al.; J. Jpn. Appl. Phys. vol. 36, no.7B, ppL899-L902, 1997、2)S. Nakamura et al.; Appl. Phys. Lett. 72, 211, 1998)。しかし、この方法では $SiO_2$ マスクを完全に埋め込むにはGaNを数十 $\mu m$ 以上成長する必要がある。さらに、 $SiO_2$ マスク上にはボイドが発生し易く、このボイドを埋めて完全に平坦な面を得るためには、埋め込むGaN層は100 $\mu m$ 近い膜厚が必要である。また、GaNと $SiO_2$ マスクの熱膨張率の差からマスク端にクラックが発生する、という問題がある。このように、ELOGは、ボイドやクラックが発生しやすく、また、消費原料が多い等の生産性の面で大きな問題がある。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来のGaN系半導体装置においては、基板と成長層の界面で発生した転位が、成長方向へ伝播しやすく、一旦界面で生じた転位はそのまま装置部を貫通し、成長層表面まで達する。すると、装置の心臓部に $10^8 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ にもおよぶ高密度の転位が伝播して、半導体装置の信頼性を低下させるという問題があった。装置の心臓部とは、例えば、GaN系半導体レーザ装置の場合には活性層である。

【0005】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、格子不整合系のエピタキシャル成長において、基板と成長層との界面で発生した転位を装置心臓部まで貫通させないようにし、高信頼性のGaN系半導体装置を提供する事を目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、基板上に形成された窒化ガリウム系半導体装置であって、基板と窒化ガリウム系半導体装置との間に、凸部を具備する転位伝播防止層を備え、かつ前記凸部側壁には単結晶面が露出してなることを特徴とする窒化ガリウム系半導体装置を提供する。

【0007】このような本発明によると、基板上に形成されたGaN系半導体層では、基板とGaN系半導体層との界面で格子歪みを起因とする結晶欠陥は転位となり、結晶中を成長方向と同じ方向に伝播する。GaN系エピタキシャル成長においては、横方向の成長速度が縦方向への成長速度に比べて大きく、このため、横方向への成長を積極的に発生させることができれば、基板との界面から伝播する転位を横方向へ曲げることができ、活

性領域への伝播を抑制することができる。このため、少なくともGa<sub>0.9</sub>N系半導体層と基板との間に、側壁が単結晶面からなる凸部を形成し、その上に再成長を行うと、結晶成長は凸部側壁面から隣接する凸部間の中央に向かって成長し、横方向への成長を積極的に利用することができる。この横方向への成長速度は、基板に対して垂直方向の成長速度より格段に速く、この側壁面において転位密度を低減することができる。従って、装置の心臓部の転位密度を低減することができ、従来の成長法よりも高品質の半導体装置が得られる。このような効果は側壁面が単結晶であることから得られるものである。また、特開平8-64791号公報に記載された技術では、凸部側面がアモルファス面で溝底部の単結晶面を種に成長が進むため、単結晶面上には成長方向に欠陥が進むと同時に、そのアモルファス凸部上には欠陥が集まり、したがって、この欠陥集中部には動作領域を形成することは困難と考えられるが、本発明では、このような不具合は低減され、後に詳細に説明するように、凸部上にも動作領域を形成することが可能である。

【0008】尚、上記本発明の半導体装置において、転位伝播防止層は $Al_xGa_yIn_zB_{1-(x+y+z)}N/A_1Ga_yIn_wB_{1-(u+v+w)}N$  ( $0 \leq x, y, z, u, v, w \leq 1$ )よりなる多層膜により構成されていることが好ましい。

【0009】さらには、転位伝播防止層の凸部は複数形成され、互いに隣接する凸部間距離 $W_1$ は $1 \mu m \leq W_1 \leq 10 \mu m$ 、凸部の高さ $d_1$ は $0.1 \mu m \leq d_1 \leq 2 \mu m$ 、凸部の上面の幅 $W_2$ は $1 \mu m \leq W_2$ であることが好ましい。また、製造の便宜上、凸部は周期的に形成されてなることが好ましい。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。

(第1の実施の形態)図1は本発明の第1の実施形態について説明するための図であり、Ga<sub>0.9</sub>N系青色半導体レーザ装置の断面構造図である。

【0011】本実施形態の半導体レーザ装置は、図1にあるように、面方位(0001)のサファイア基板100上に、膜厚50nmのGa<sub>0.9</sub>Nバッファ層101、膜厚3 $\mu m$ のGa<sub>0.9</sub>N転位伝播防止層102、103を介して形成されている。Ga<sub>0.9</sub>N転位伝播防止層の下部層102の凸部側壁を含めて、下部層102と上部層103の界面は単結晶からなる。このように凸部側壁を単結晶面とすることで、後に説明するように、凸部間では横方向成長を促すことができ欠陥の総数を効果的に抑制可能となった。

【0012】本実施形態の半導体レーザ装置は図1にあるように、膜厚約2 $\mu m$ のn-Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層104、膜厚約0.7 $\mu m$ のn-Ga<sub>0.9</sub>AlNクラッド層10

5、膜厚約0.1 $\mu m$ のn側Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層106、InGa<sub>0.9</sub>N多重量子井戸(MQW)活性層107、膜厚約0.1 $\mu m$ のp側Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層108、膜厚約0.7 $\mu m$ のp型Ga<sub>0.9</sub>AlNクラッド層109、膜厚約0.3 $\mu m$ のn型InGa<sub>0.9</sub>N光吸収層110、膜厚約0.5 $\mu m$ のp型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層111、n側電極113、p側電極112より構成した。

【0013】以下に、有機金属気相成長法(MOCVD法)による転位伝播防止層の成長過程と転位伝播防止層を用いた本実施形態による効果を図2(a)乃至図2(d)の工程別断面図を用いて説明する。尚、図2(a)乃至図2(d)では、サファイア基板100及びバッファ層101を省略するが、下部層102には、基板材料とは格子不整合系のバッファ層101の結晶転位を受けて、図示のような、成長方向に伸びる結晶転位がある。尚、図2(a)乃至図2(d)では、図示の関係上、数本の転位を示したが、アモルファス-Ga<sub>0.9</sub>N格子不整合系では無数の転位が発生する。また、この系以外の他の材料系の組み合わせにおいても、不整合の度合いに応じた数の転位が発生している。

【0014】まず、半導体レーザ装置を形成する予定の、洗浄済みサファイア基板100をMOCVD反応管内のサセプターへ設置し、還元雰囲気中で約1050℃までサファイア基板100を加熱して、Ga<sub>0.9</sub>N層を形成する予定の主表面酸化物を除去した。その後、サセプター温度を約550℃まで降温し、TMG(トリメチルガリウムガス)、アンモニアガスを流し、Ga<sub>0.9</sub>Nバッファ層101を膜厚約0.05 $\mu m$ まで成長させた。次に、温度を約1100℃まで上昇させGa<sub>0.9</sub>N層102を膜厚約2 $\mu m$ に成長させた。その後、反応管内を冷却し、一旦、サファイア基板100を反応管より取り出し、図2(a)に示すように、フォトリソグラフィ及びエッチング工程によりGa<sub>0.9</sub>N層102へGa<sub>0.9</sub>N<11-20>方向(図面では、紙面垂直方向)へのストライプ状の凸部を形成した。凸部の高さは約1 $\mu m$ 、隣接する凸部間の距離は約5 $\mu m$ であり、凸部の上辺の幅は約5 $\mu m$ とした。

【0015】その後、再びサファイア基板をMOCVD反応管内に設置し、還元雰囲気中でサファイア基板を約1100℃まで加熱して、図2(b)及び図2(c)に順に示すように、Ga<sub>0.9</sub>N層103を凸部上での厚さが約1 $\mu m$ となるようにエピタキシャル成長した。この時、隣接する凸部間の凹部Tでは、図2(b)に示すように、側壁からの成長が生じ、成長時間の経過と共に成長表面は基板主表面と垂直方向から平行方向へと移動する。すなわち、凹部Tを埋め込むまでの成長初期段階では凸部Tの側壁を起点として、基板面に対して横方向への成長が優先的に生じた。これは、横方向への成長速度が、基板主表面に対し垂直方向への成長速度に比較して大きいからである。例えば、高さ約1 $\mu m$ の凸部を形成後、基

板の凸部上で垂直方向への膜厚が約 $1\mu\text{m}$ となるように成長を行うことにより、図2(c)に示すように、凸部側壁からは横方向に約 $4\mu\text{m}$ の成長が生じ、Ga<sub>0.9</sub>Nを $1\mu\text{m}$ 成長しただけでも、幅 $5\mu\text{m}$ のストライプ凹部は完全に平坦に埋め込めた。このようにすることで、隣接する凸部に挟まれた凹部内で、結晶転位を基板主表面と平行の横方向へ伝播させる事ができた。横方向へ伸びる結晶転位は、隣接する凸部間の中央に集中し一体となるため、基板主表面の垂直方向(層の成長方向)へ伝播する貫通転位の総数は大幅に低減することができた。本実施形態では、Ga<sub>0.9</sub>N層103を厚さ約 $2\mu\text{m}$ 成長することにより、サファイア基板100とGa<sub>0.9</sub>Nバッファ層101との界面で発生した貫通転位を、転位伝播防止層の上表面では $10^3\text{ cm}^{-2}$ まで低減することができた。

【0016】以上の工程により、Ga<sub>0.9</sub>N層103表面が平坦になるように埋め込んだ後、図2(d)に示すように、Siを添加したn型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層104を厚さ約 $2\mu\text{m}$ でGa<sub>0.9</sub>N層103上に形成した。

【0017】その後、図1に示すように、n型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層104上に、Siドープのn型Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>、n型クラッド層105を約 $0.7\mu\text{m}$ 、Siドープのn型Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層106を約 $0.1\mu\text{m}$ 、さらにノンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N(3nm)及びノンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N(6nm)の2種類のInGa<sub>0.9</sub>N層を5周期繰り返して構成されるMQW活性層107、Mgドープのp型Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層108を約 $0.1\mu\text{m}$ 、Mgドープのp型Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>Nクラッド層109を約 $0.7\mu\text{m}$ 、およびp型Ga<sub>0.9</sub>Nキャップ層を約 $0.2\mu\text{m}$ 順次、MOCVD法により成長した。そして、これらの各層にわたる転位は、転位伝播防止層表面の転位数と同等であった。

【0018】次に、再び温度を下げ、上記成長層を形成したサファイア基板を反応管より取り出し、フォトリソグラフィ及びエッチング工程により、p型Ga<sub>0.9</sub>Nキャップ層及びp型Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>Nクラッド層よりなる幅約 $5\mu\text{m}$ 、高さ約 $0.8\mu\text{m}$ のリッジ部を形成し、このリッジ部の上端を除いてリッジ側面とその周辺には、厚さ約 $0.2\mu\text{m}$ のSiO<sub>2</sub>選択成長用マスクを形成した。再び、上記成長層を形成したサファイア基板を反応管内に設置し、Siドープのn型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N光吸収層110を成長した。その後、反応管よりサファイア基板を取り出し、SiO<sub>2</sub>選択成長マスクをエッチング除去した。続いて、反応管中に試料を再度設置し、Mgドープのp型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層111を約 $0.5\mu\text{m}$ 成長した。その後、反応管より試料を取り出し、p側電極112、n側電極113を形成し、図1に示すような半導体レーザ構造が完成した。

【0019】本実施形態によれば、活性層での転位密度は、転位伝播防止層の上表面における密度よりも若干増えた $10^8\text{ cm}^{-2}$ であり、従来の活性領域における転位

密度 $10^8\sim 10^{10}\text{ cm}^{-2}$ を大幅に低減することができた。これにより、作製したレーザ装置の発光強度の増大、閾値の低減、長寿命化が可能となった。

【0020】なお、転位伝播防止層の凸部の形態としては、凸部の高さ(凹部の深さ) $d_1$ は $0.1\mu\text{m}\leq d_1\leq 2\mu\text{m}$ 、隣接する凸部間距離 $W_1$ は $1\mu\text{m}\leq W_1\leq 10\mu\text{m}$ 、凸部上面の幅 $W_2$ は $1\mu\text{m}\leq W_2$ であることが好ましく、転位伝播防止層の厚さ $d$ は $0.1\mu\text{m}\leq d$ が好ましい。 $d_1$ が $d_1<0.1\mu\text{m}$ では溝側壁部への成長にともなう横方向への成長が生じ難い。また、 $2\mu\text{m}<d_1$ では溝部を平坦に埋め込むために必要な膜厚が厚くなるため実用的にはあまり好ましくないからである。さらにまた、 $W_1$ については、 $W_1<1\mu\text{m}$ では横成長の生じる幅が狭いため、転位密度低減効果は十分に得られ難い。また、 $10\mu\text{m}<W_1$ では平坦に埋め込むための膜厚を厚くする必要があるため、実用的にはあまり好ましくない。また、 $W_2$ については、 $W_2<1\mu\text{m}$ では平坦な埋め込みが困難であり、 $d$ は、 $d<0.1\mu\text{m}$ では溝部を平坦に埋め込むことには困難性があるためである。また、平坦な表面が得られる転位伝播防止層103の厚さは、 $d_1$ に依存するが、 $d=d_1$ であれば、上表面が平坦になるように埋め込むことが可能であり、少なくとも $d=2d_1$ とすることにより、貫通転位密度の十分な低減効果が得られた。

【0021】(第2の実施の形態)次に、本発明の第2の実施形態に関わる半導体レーザ装置に関して、図3の断面構造図を用いて説明する。

【0022】第1の実施形態では、転位伝播防止層102、103を形成後、その上にn型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層を形成したが、本発明による転位伝播防止層は、基板と活性層との間であればよく、本実施形態では、図3に示すように、n型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層202、203によって単結晶の凸部面を形成し、n型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層と転位伝播防止層との役目を兼用した。本実施の形態によれば、n型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層と転位伝播防止層とを兼ねているため、第1の実施形態による場合よりも、全体の層数を低減することができ、デバイスの厚さを薄くできるという特徴がある。尚、図3において、200はアモルファスサファイア基板、201はGa<sub>0.9</sub>N多結晶あるいは単結晶層、205はn型クラッド層、206はn型光ガイド層、207はMQW活性層、208はp型光ガイド層、209はp型光ガイド層、210は光吸収層、211はp型コンタクト層、212、213は夫々p型、n型電極であり、各層の厚さは第1の実施形態と同様とした。

【0023】図4は、n型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層に転位伝播防止層を兼ねた場合の応用例を示す断面構造図である。この応用例では、転位伝播防止層がn型電極213の下面よりも上側にあり、n型電極213から注入された電流が転位伝播防止層202、203及びその下の転

10

20

30

40

50

位密度の高い領域を流れるため、この点において、図3に示す構造の方が望ましい。

【0024】図5は、さらに、他の応用例の半導体レーザ装置を示す断面構造図であるが、本発明の転位伝播防止層として、Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N層302とn型Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nコンタクト層303により構成しており、単結晶面からなる凸部はこれらの層の界面に形成した。このような構造は、サファイア基板300の主表面上に、Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nバッファ層302を成長後、このGa<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nバッファ層302の表面に異方性エッチング等により単結晶の凹凸面を形成し、n型Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nコンタクト層以降の層を再成長することにより作製することができた。この場合、n型Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nバッファ層302の転位密度は大きい、n型Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nコンタクト層の転位密度は低く、電流は転位密度の小さい部分を流れた。尚、図5中、305はn型クラッド層、306はn型光ガイド層、307は活性層、308はp型光ガイド層、309はp型クラッド層、310は光吸収層、311はp型クラッド層、312、313は夫々、n型及びp型電極であり、各層の材料や層厚は第1の実施形態と同様に形成した。

【0025】(第3の実施形態)次に、図6の断面構造図を用いて、第3の実施形態の半導体レーザ装置に関して説明する。

【0026】第1及び第2の実施形態では、転位伝播防止層102、103、及び202、203を凹凸界面を挟んで同一材料のGa<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nにより構成したが、本実施形態では、図6に示すように、転位伝播防止層にヘテロ界面を採用した。

【0027】まず、本実施形態では、図6にあるように、サファイア基板400上にGa<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N層401を介して形成したn型Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N層402の上表面に、高さ約0.3μm、幅約3μmの凸部を間隔約3μmの溝を形成し、さらに、Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N層403を約0.3μmの厚さに再成長した。これにより、凸部間は完全に埋め込まれ、かつGa<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N層405とその上部のn型Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nクラッド層405との界面も平坦であった。この実施形態では、基板400とバッファ層401の界面で発生した転位は、n型Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N/n型Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nの界面下側まで伝播し、その密度は $10^9 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ であった。この転位密度は、界面の上側では低減し、 $10^6 \text{ cm}^{-2}$ であった。また、通常、平坦な面上へGa<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N層を約0.1μm以上成長した場合には、膜中に穴が発生したり、表面モロロジーが劣化するなどの問題があったが、本発明の凹凸の転位伝播防止層にヘテロ界面を形成することにより、厚さ約0.3μm以上の厚いGa<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N膜403を得ることができた。Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N層403は光吸収層として機能し、レーザ装置の垂直横モードの制御を可能とすると共に、本実施形態では、n型コンタクト層としても機能した。

【0028】本実施形態では、Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N単層膜402

を成長させた場合について説明したが、Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N-MQWのような多層膜によって凸部間を埋め込んでも良い。この場合には、転位密度の低減効果はさらに上がり、転位伝播防止層上部の転位密度は $10^6 \text{ cm}^{-2}$ まで低減することができた。また、光吸収層の膜厚を厚くすることができるため、レーザ装置の垂直横モードの制御性も向上させることができ、デバイスの設計においても許容範囲を広げる事ができる。

【0029】尚、図6において、405はn型クラッド層、406はn型光ガイド層、407は活性層、408はp型光ガイド層、409はp型クラッド層、410は光吸収層、411はp型コンタクト層、412、413はそれぞれp型とn型のコンタクト層であり、各層の厚さや材料は第1の実施形態と同様に設定した。

【0030】(第4の実施形態)次に、図7の断面構造図を用いて、第4の実施形態の半導体レーザ装置について説明する。

【0031】本実施形態における転位伝播層は、サファイア基板500の主表面上の、例えばGa<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N層501の表面上に形成された、凸部を備える下部層502、上部層503、及び下部層502の凸部上のSiO<sub>2</sub>層から構成した。ここで、凸部側壁には、SiO<sub>2</sub>層とともに、単結晶面を備えてなる。このようにすることで、下部層502の表面から発生した転位の数々は、互いに隣接する凸部間の中央へ集まり一体化するため、転位の総数を減少させることができた。一方、SiO<sub>2</sub>層上では、残存する転位の多くがSiO<sub>2</sub>層の中央に進む横方向成長によって、その中央に集まることで、やはり転位の総数を減少させることができた。従って、半導体レーザの心臓部である発振部は、隣接する凸部間の中央とSiO<sub>2</sub>層の中央との間に形成される、転位数が低減された領域上に形成することが好ましい。このように、転位伝播防止層の凹凸の位置と発振部の位置を調整することで、好適な実施形態を得ることができた。

【0032】このような転位伝播防止層は、例えば以下の方法により形成した。まず、転位伝播防止層の下部層502にするGa<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N層をGa<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nバッファ層501表面に形成した後、リソグラフィ工程とエッチングを行い、紙面垂直方向に伸びるストライプ状の凸部形成予定領域にSiO<sub>2</sub>マスクパターンを形成した。

【0033】次に、選択的にGa<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>Nをエッチングする条件にて、SiO<sub>2</sub>マスクパターンが形成されずにある(Ga<sub>0.7</sub>In<sub>0.3</sub>N層が露出した)領域をエッチング除去することにより、図7のように、上面をSiO<sub>2</sub>層により覆われた凸部を形成した。このようにした後、上部層503を形成して凸部間を埋め込んだ。その後は、n型コンタクト層504、n型クラッド層505、n型光ガイド層506、活性層507、p型光ガイド層508、p型クラッド層509、光吸収層510、p型コンタクト層511を順次積層形成後、n型電極形成のためのエッチング

を施して、n型コンタクト層504を露出後、露出面上にn型電極を形成し、p型コンタクト層511上にp型電極512を形成して、第7に示す半導体装置が完成した。尚、各層の厚さやその材料については、第1の実施形態に準じた。

【0034】以上説明した実施形態に限らず、本発明は、 $Al_x Ga_y In_z B_{1-(x+y+z)} N / Al_u Ga_v In_w B_{1-(u+v+w)} N$  ( $0 \leq x, y, z, u, v, w \leq 1$ ) で表される組み合わせの何れにも適用することが可能であった。特に、格子不整合のヘテロ構造において、特に効果

を發揮した。  
【0035】また、 $GaN<11-20>$ 方向へのストライプに限らず、例えば $<1-100>$ 方向へのストライプでも同様の効果が得られた。 $<1-100>$ 方向のストライプの方が薄い再成長層での埋め込みが容易であり、この点で好ましい。また、 $GaN$ のへき開面と符号するため、この点でも好ましい。一方、 $<11-20>$ 方向へのストライプでは、PL強度が強く、再成長層の品質は優れる。また、この方向はサファイアへき開面と符合するのでこの点で好ましい。また、各方向から15度以内にずらすことで凸部間での成長面の合体が滑らかに切れる。

【0036】凸部パターンについては、ストライプに限られるものではなく、側壁が単結晶面の凸部が形成されていれば、同様の効果が得られる。例えば、基盤のめのようなパターンでもよく、六角形、三角形等の多角形でもよかった。

【0037】以上の実施形態では、基板としてアモルファスサファイアを用いた場合について説明したが、基板材料としてGaAs、Si、ZnO、SiC、GaN、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、材料を使用してもよい。格子不整合系の組み合わせとしては、Si/GaAs、Si/InP、GaAs/ZnSe、Si/GaN、SiC/GaN、GaAs/GaN、サファイア/ZnO等の格子不整合系の組み合わせにも適用できた。

【0038】また、以上の実施形態では、SBR構造の半導体レーザ装置により説明を行ったが、他のリッジ構造、電極ストライプ構造、内部狭窄構造、埋め込みヘテロ(BH)構造レーザ装置など他のレーザ構造、あるいはLED等の他の発光装置、あるいは受光装置、またはMESFETなどの電子装置にも適用できる。この場合、各装置の発光領域やチャネル領域等の動作領域は、上述の理由から、本発明の転位伝播防止層もしくはその上の成長層に形成することが好ましい。また、本発明によれば、最上層まで達する転位密度を低減できるので、上記各構造のうち、再生成を必要とする構造では転位に起因するエッチビットの生成やモホロジーの劣化を有効に防ぐことができる。また、上記実施形態において、説

明した各層の間に他の機能層を備えてもよく、また、各層の構成材料や厚さも本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形可能である。

【0039】

【発明の効果】以上、詳述したように本発明によれば、格子不整合系のエピタキシャル成長層で発生する転位の、層成長方向への伝播を抑制し、所望領域での転位密度を低減することができるので、半導体レーザ装置などの高品質の結晶性を要求される半導体装置が得られた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態による半導体レーザ装置の断面図。

【図2】本発明の第1の実施形態における転位伝播防止層の形成方法を説明するための概略断面図。

【図3】本発明の第2の実施形態による半導体レーザ装置の断面図。

【図4】本発明の第2の実施形態の応用例の半導体レーザ装置を示す断面図。

【図5】第2の実施形態の他の応用例の半導体レーザ装置を示す断面図。

【図6】第3の実施形態の半導体レーザ装置を示す断面図。

【図7】凸部上面に酸化膜を備える、第4の実施形態の半導体レーザ装置を示す断面図。

【符号の説明】

100, 200, 300, 400, 500…サファイア基板

101, 201, 501…バッファ層

102, 202, 302, 402, 502…転位伝播防止上部層

103, 203, 303, 403, 503…転位伝播防止下部層

104, 504…コンタクト層

105, 205, 305, 405, 505…n型クラッド層

106, 206, 306, 406, 506…n型光ガイド層

107, 207, 307, 407, 507…活性層

108, 208, 308, 408, 508…p型光ガイド層

109, 209, 309, 409, 509…p型クラッド層

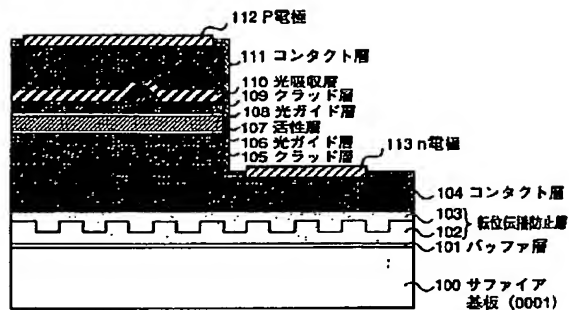
110, 210, 310, 410, 510…光吸収層

111, 211, 311, 411, 511…p型コンタクト層

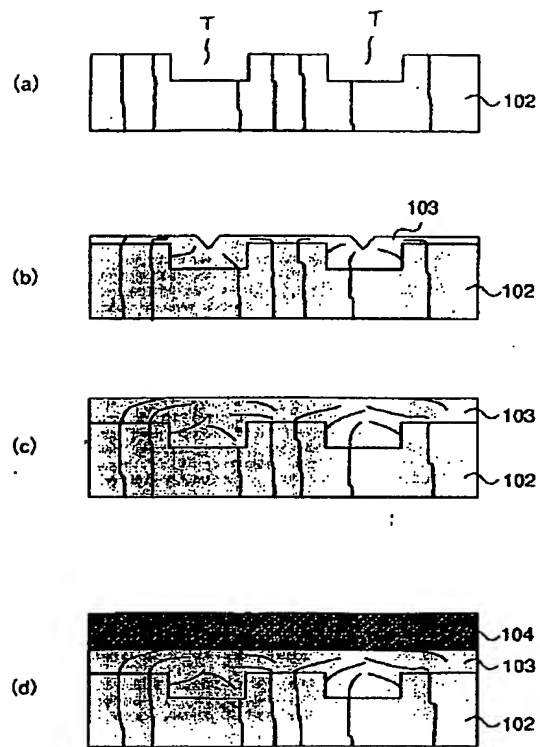
112, 212, 312, 412, 512…P電極

113, 213, 313, 413, 513…n電極

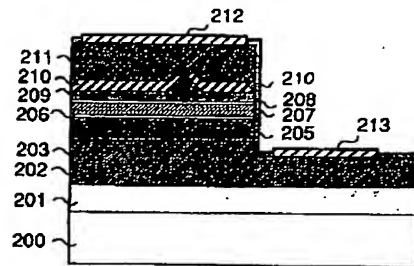
【図1】



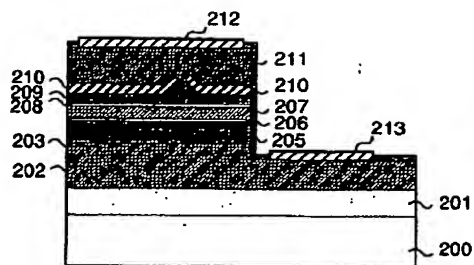
【図2】



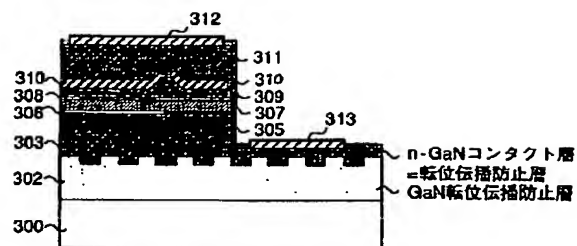
【図3】



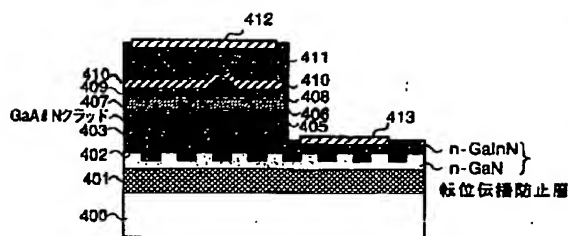
【図4】



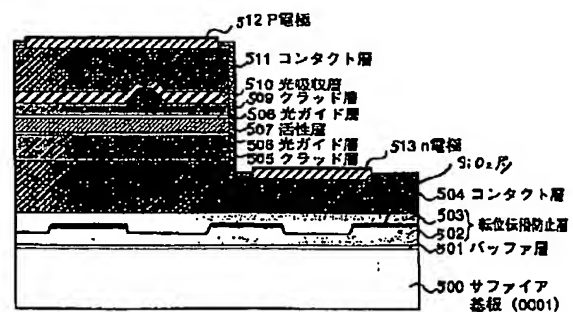
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F041 AA40 CA04 CA05 CA23 CA34  
CA40 CA46 CA49 CA57 CA65  
CA73 CA74 CA75  
5F073 AA51 AA55 AA74 CA02 CA07  
CB05 CB07 CB14 DA05 DA21  
EA29